

PUBLICATION NUMBER : 05323004
PUBLICATION DATE : 07-12-93

APPLICATION DATE : 22-05-92
APPLICATION NUMBER : 04154171

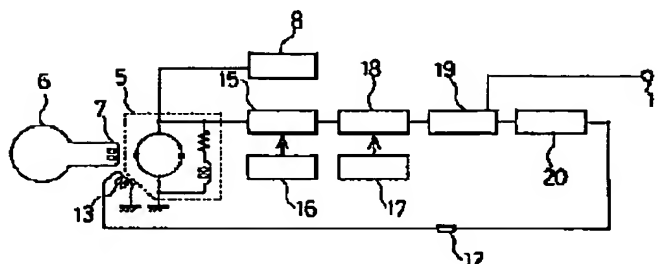
BEST AVAILABLE COPY

APPLICANT : CHODENDO SENSOR
KENKYUSHO:KK;

INVENTOR : KONDO YASUSHI;

INT.CL. : G01R 33/035

TITLE : SQUID MAGNETIC FLUX METER



ABSTRACT : PURPOSE: To obtain a drive circuit of a RO-SQUID magnetic flux meter which has small amount of noise, can increase magnetic field detection sensitivity, at the same time can form multiple channels with a simple configuration easily, and can be operated easily.

CONSTITUTION: The title item is provided with a detection coil for detecting an external magnetic field, an RO-SQUID 5 for outputting frequency signal which changes the oscillation frequency according to the change in external magnetic field according to the detection signal of the external magnetic field from the detection coil, a counter 15 for counting the number of the output pulses, and an offset data retention means 17 for retaining the count value when the input magnetic flux is equal to 0. Further, it is also provided with an addition means 18 for subtracting the output pulse of the counter 15 and an offset data and for giving the magnetic flux detection pulse signal from the input magnetic flux 0, an integration means 19 for integrating the output from the addition means 18 digitally and giving the digital output, and a feedback means for converting the output from the addition means 18 to an analog quantity, feeding it back to the RO-SQUID, and then detecting the zero point of the magnetic flux.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-323004

(43) 公開日 平成5年(1993)12月7日

(51) Int.Cl.⁵

G 0 1 R 33/035

識別記号

Z A A

庁内整理番号

8203-2G

F I

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数1(全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平4-154171

(22) 出願日 平成4年(1992)5月22日

(71) 出願人 391009866

株式会社超伝導センサ研究所

東京都中央区東日本橋1丁目6番5号 東

日本橋佐藤ビル5階

(72) 発明者 近藤 泰志

千葉県印旛郡印西町武西学園台2丁目1200

番地 株式会社超伝導センサ研究所内

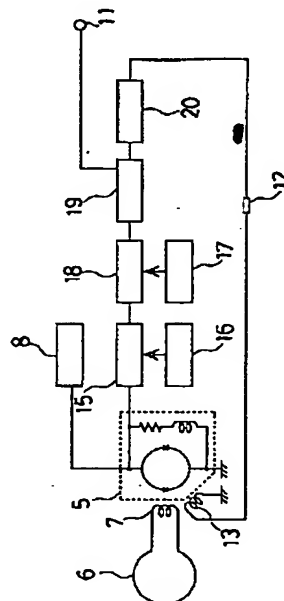
(74) 代理人 弁理士 福田 武通 (外2名)

(54) 【発明の名称】 S Q U I D 磁束計

(57) 【要約】

【目的】 ノイズが小さく、磁場検出感度を高くすることができると共に簡単な構成で多チャンネル化が容易であり、しかも操作しやすいR O - S Q U I D 磁束計の駆動回路を提供する。

【構成】 外部磁場を検出する検出コイルと、この検出コイルからの外部磁場の検出信号にしたがって前記外部磁場の変化に対応して発振周波数を変化させる周波数信号を出力するR O - S Q U I D と、その出力パルスを計数するカウンタ15と、入力磁束がゼロのときのカウンタ値を保持するオフセットデータ保持手段17と、前記カウンタ15の出力パルスと前記オフセットデータを減算し、入力磁束0からの磁束検出パルス信号を与える加算手段18と、この加算手段18からの出力をデジタル積分してデジタル出力を与える積分手段19と、前記加算手段18からの出力をアナログ量に変換し、R O - S Q U I D にフィードバックし、磁束の零点検出を可能にするフィードバック手段とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 外部磁場を検出する検出コイルと、この検出コイルからの外部磁場の検出信号にしたがって前記外部磁場の変化に対応して発信周波数を変化させる周波数信号を出力する緩和発振形SQUIDと、この緩和発振形SQUIDからの周波数を表す出力パルスを計数して出力するカウンタと、前記検出コイルで検出される入力磁束がゼロのときのカウンタ値を保持するオフセットデータ保持手段と、このオフセットデータ保持手段と前記カウンタに接続されて、カウンタの出力パルスとオフセットデータとの減算値を求め、検出磁束値を入力磁束がゼロから始まるように磁束検出パルス信号を与える加算手段と、この加算手段からの出力信号をディジタル積分してディジタル出力信号を外部に与えるディジタル積分手段と、前記加算手段からの出力信号をアナログ量に変換して前記緩和発振形SQUIDにフィードバックし、これにより入力磁束を相殺して磁束の零点検出を可能にするフィードバック手段とを備えたことを特徴とするSQUID磁束計。

【発明の詳細な説明】

* 20

$$I_{cmax} < I_b < ((R_N + R_S)/R_S) \cdot I_{cmin} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 R_N はSQUIDのノースル抵抗、 I_{cmax} 、 I_{cmin} は夫々図3 (b) に示したようなSQUIDの最大臨界電流、最小臨界電流である。また、このRO-SQUID

※UIDの発振周波数 f は次式で表される。

【数1】

$$f = \frac{R_S}{L_S} \left[\ln \left(\frac{I_b - I_{cmin}}{I_b - I_{cmax}} \right) + \ln \left(\frac{I_b - V_g/R_S - I_{cmax}}{I_b - V_g/R_S - I_{cmin}} \right) \right]^{-1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 V_g はdc SQUID1のトンネル接合のギャップ電圧である。上記式(2)に示したように、臨界電流 I_{cmax} はdc SQUID1に対して入力された入力磁束 Φ により変化する、したがってRO-SQUID磁束計の発振周波数 f は入力磁束 Φ により変化することになり、これにより磁束検出が行われるように構成されている。その際、基本発振周波数が高いほど発振周波数 f の変化分は大きくなり、したがって磁束分解能が高くなる。以上に示したRO-SQUID磁束計の原理の詳細は例えば、電子情報通信学会、SCE研究会、SCE91-20「Nb/AlOx/Nbトンネル接合を用いたRelaxation Oscillating SQUID」に示されている。

【0004】次に、このようにRO-SQUIDの従来の駆動回路について説明する。図4は例えば「Applied Physics A」第46巻、97~101頁に示された従来のRO-SQUID駆動回路の回路構成を示す回路図である。この図4において、5は図3 (a) に示した緩和発振形SQUID (RO-SQUID)、6は磁場を検出するピックアップコイル、7は検出磁場をRO-SQUID5に伝達するインプットコイル、8はRO-SQUID5に伝達するインプットコイル、9はRO-SQUID5からの周波数信号を電圧信号に変換するF/V変換器、10はF/V変換器9の出力を積分する積分器、11は出力端子、12は積分器10の出力をフィードバックするフィードバック抵抗、13はフィードバック抵抗12からのフィードバック信号をRO-SQUID5に伝達するフィードバックコイルである。なお、14は超電導環境にある部位を示すものである。上記のように構成された従来のRO-SQUIDの駆動回路は次のように動作する。

* 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は超伝導量子干渉計 (Superconducting Quantum Interference Device: SQUID)、特に緩和発振形SQUID (RO-SQUID: Relaxation Oscillation SQUID) 磁束計の駆動回路に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図3はこの種のRO-SQUID磁束計の原理を示す回路構成図であり、図3の(a)は回路構成を、(b)はI-V特性を示すものである。図3の(a)に示したように、1は2個のジョセフソン素子を有して臨界電流の変化を直流的に観測できるdc (直流) SQUID、2および3は、ヒステリシス特性を示すこのdc SQUID1に並列に接続された、直流接続の抵抗 (R_S) とインダクタンス (L_S)、4は出力端子である。

【0003】上記構成のRO-SQUID磁束計は、図のバイアス電流 I_b が次の条件を満足するときに発振する。

UID5に電流バイアスを与えるバイアス電流源、9はRO-SQUID5からの周波数信号を電圧信号に変換するF/V変換器、10はF/V変換器9の出力を積分する積分器、11は出力端子、12は積分器10の出力をフィードバックするフィードバック抵抗、13はフィードバック抵抗12からのフィードバック信号をRO-SQUID5に伝達するフィードバックコイルである。なお、14は超電導環境にある部位を示すものである。上記のように構成された従来のRO-SQUIDの駆動回路は次のように動作する。

【0005】ピックアップコイル6で検出された磁場はインプットコイル7を介してRO-SQUID5に伝達され、RO-SQUID5では入力磁場に応じた周波数信号を発生し、これをF/V変換器9は電圧信号に変換する。変換された電圧信号は積分器10で積分され、出力端子11にアナログ信号が取り出される。さらに、積分器10からのアナログ信号はフィードバック抵抗12を介してフィードバックコイル13にフィードバックされ、入力磁束をうち消すように作用する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記のような従来のRO-SQUIDの駆動回路では、F/V変換器9による発生ノイズが大きく、駆動回路全体のノイズに対して支配的であるという問題点があった。さらに、上記のようなRO-SQUIDは基本発振周波数が高いほど有利であるが、F/V変換器の処理周波数は一般に数10MHzと低く、装置全体の周波数特性を低下させていた。さらに、RO-SQUIDは4.2Kの液体ヘリウムを含むクライオスタットに浸漬させて動作させるが、図4に示した回路は室温で動作するものであり、したがってRO-SQUIDと回路の間は比較的長いケーブルで接続しなければならず、外来ノイズが混入しやすいという問題点があった。以上のように従来のRO-SQUIDの駆動回路はRO-SQUID本来の性能を十分に引き出せないという問題点があった。したがって、本発明の目的は、ノイズが小さく、磁場検出感度が高くできると共に簡単な構成で多チャンネルが容易で操作しやすいRO-SQUID磁束計の駆動回路を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を実現するために、本発明によるRO-SQUID磁束計は、外部磁場を検出する検出コイルと、この検出コイルからの外部磁場の検出信号に従って前記外部磁場の変化に対応して発振周波数を変化させる周波数信号を出力する緩和発振形SQUID (RO-SQUID) と、このRO-SQUIDからの周波数を表わす出力パルスをカウントして出力するカウンタと、前記検出コイルで検出される入力磁束がゼロのときのカウンタ値を保持するオフセットデータ保持手段と、このオフセットデータ保持手段と前記カウンタに接続され、カウンタの出力パルスとオフセットデータとの減算値を計算し、検出磁束値を入力磁束が0から始まるように磁束検出パルス信号を与える加算手段と、この加算手段からの出力信号をデジタル積分してデジタル出力信号を外部に与える積分手段と、前記加算手段からの出力信号をアナログ量に変換するD/A変換手段と、このD/A変換手段の出力を前記RO-SQUIDにフィードバックし、磁束の零点検出を可能にするフィードバック手段とを備えるものである。

【0008】

【作用】RO-SQUIDからの入力磁束に応じた周波数のパルスをカウンタが計数する。このカウンタは高周波カウンタであり、従来のF/V変換器を使用した場合の周波数応答の問題点が解消される。また、カウンタからの出力は加算手段に送られ、そこでオフセットデータ保持手段から入力磁束0の時のカウンタ値を減算される。これにより、入力磁束が0のときからの磁束値が得られる。加算手段からの出力はデジタル積分手段により積分され、外部に取り出される。このようにRO-SQUIDからの信号はデジタル量として処理されるこ

とから従来例のようなノイズの混入が回避され、また多チャンネルかが可能になる。一方、積分手段からのデジタル出力はD/A変換手段によりアナログ量に変換され、RO-SQUIDにフィードバックされ、磁束の零点検出が行われる。これによりRO-SQUID磁束計の出力は線形になり、高感度の磁束検出が可能になる。

【0009】

【実施例】次に、本発明によるSQUID磁束計の実施例を図面に基づいて説明する。図1は本発明の実施例を示す回路構成図である。図において、5乃至8、11乃至13は前記図3及び図4に示した従来例の構成部分と同じであり、15はRO-SQUID5に接続され、その出力である入射磁束に応じた周波数の出力パルスを計数するカウンタ、16はこのカウンタ15に接続され、これを一定時間毎にリセットするクロック、17は入力磁束がゼロのときのカウンタ値を保持するオフセットデータ保持器、18は上記カウンタ15及びオフセットデータ保持器17に接続され、カウンタ15の出力パルスとオフセットデータ保持器17からのオフセットデータとの減算値を計算し、検出磁束値を入力磁束を0のものから与える加算器、19は加算器18からの入力磁束の0からの変化量を示すデジタル出力をデジタル的に積分するデジタル積分器、20はこのデジタル出力をアナログ量に変換するD/A変換器である。

【0010】上記のように構成された本実施例の動作は次のようになる。ピックアップコイル6で検出された磁場はインプットコイル7を介してRO-SQUID5に伝達される。RO-SQUID5は入力磁束に応じた周波数のパルスを出力しカウンタ15で計数される。このカウンタ15はクロック16により一定期間ごとリセットされ、このクロック16の2つのパルスの間にRO-SQUID5の出力パルスを計数し出力する。オフセットデータ保持器17は入力磁束が0のときのカウンタ値を予め保持しており、加算器18はカウンタ15の出力からオフセットデータを減算して入力磁束が0からの変化を与えるように変換する。

【0011】加算器18からの入力磁束が0からの変化量を示すデジタル出力はデジタル積分器19で積分され出力端子11から外部に取り出される。一方、デジタル積分器19の出力はD/A変換器20によりアナログ量に変換され、フィードバック抵抗12を介して電流の形でフィードバックコイル13から入力磁束を打ち消すようにRO-SQUID5にフィードバックされる。これにより、RO-SQUID5中の磁束はゼロに維持される。このようにして上記フィードバックループにより磁束の零点検出が可能になり、したがって本実施例のRO-SQUID磁束計は線形出力を与え、高感度な磁束検出が実現される。

【0012】次に、上記カウンタ15の動作を図2にしたがってさらに詳細に説明する。入力磁束が0の時のR

RO-SQUID 5の発振周波数(基本発振周波数)が、例えば1GHzの時、磁束周波数変換係数 $\partial f / \partial \Phi$ は実験によると約1.5GHz/ Φ_0 になる。したがって、例えば生体磁気計測に必要な磁場分解能 $10^{-8}\Phi_0$ / $\sqrt{\text{Hz}}$ を得るには、外部磁束が入力することによるRO-SQUIDの発振周波数の変化を1.5KHz以上の分解能で測定する必要がある。この場合、例えばRO-SQUID 5の発振周波数変化を1KHzの分解能で測定するためには、クロック15の周波数を1KHzに設定した時、そのパルスは1msec(=1KHz)間隔で発生することになるので、その間にカウンタ15による計数パルス数は、 $f=1\text{GHz}$ のときは図2(a)に示したように $1\text{msec}/(1/1\text{GHz})=100000$ となり、 $f=1\text{GHz}+1\text{KHz}$ のときは図2(b)に示したように $1\text{msec}/(1/(1\text{GHz}))=1000001$ となる。

【0013】したがって、このときのカウンタ15は1KHzの周波数分解能を持つことになる。次に、カウンタ15の出力は加算器18によりオフセットデータ保持器17からのオフセットデータを減算され、これによりRO-SQUID 5の周波数変化がカウント値の0からの変位に変換される。この加算器18のデジタル出力はデジタル積分器19により積分され、D/A変換器20によりアナログ量に変換され、フィードバック抵抗12を介して電流の形でフィードバックコイル13に送られ、入力磁束を打ち消すようにRO-SQUID 5にフィードバックされる。以上説明したように、本実施例のRO-SQUID磁束計の出力はデジタル積分器19の出力であり、デジタルシリアルデータとして外部に取り出すように構成されている。したがって、信号伝送時に従来の場合とは異なり外部からのノイズに強く、さらに多チャンネル化が容易になる。

【0014】

【発明の効果】以上示したように、本発明によれば、RO-SQUIDからの入力磁束に応じた周波数のパルス

を計数する高速カウンタと、入力磁束0のときのカウンタ値を保持するオフセットデータ保持手段と、前記カウンタからの出力と前記オフセットデータ保持手段の保持データとを減算する加算手段と、加算手段の出力をデジタル積分してデジタル信号を出力するデジタル積分手段と、さらにこのデジタル積分手段のデジタル出力をD/A変換し、RO-SQUIDにフィードバックして磁束の零点検出して供するフィードバック手段とを設けることにより、従来よりも高周波領域での装置動作が可能になり、また入力磁束が0のときからの磁束測定が可能になって装置の線形応答が可能になり、さらに外来ノイズの混入が回避され、多チャンネル化が可能になると共に磁束の零点検出による高感度磁束検出が可能になるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示す回路構成図である。

【図2】図1の実施例のカウンタの動作を示すタイミング図である。

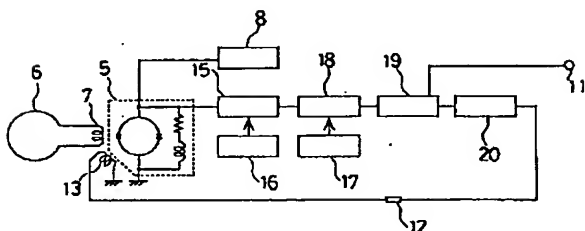
【図3】RO-SQUID磁束計の原理およびI-V特性を示す回路構成図である。

【図4】従来のRO-SQUID駆動回路の回路構成を示す回路構成図である。

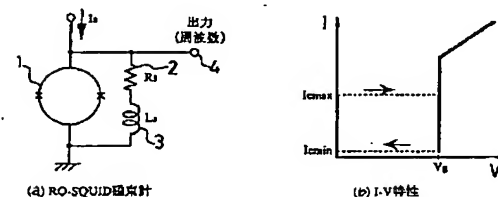
【符号の説明】

- 1 dc SQUID
- 5 RO-SQUID
- 6 ピックアップコイル
- 12 フィードバック抵抗
- 13 フィードバックコイル
- 15 カウンタ
- 16 クロック
- 17 オフセットデータ保持手段
- 18 加算器
- 19 デジタル積分器
- 20 D/A変換器

【図1】



【図3】



特開平5-323004

(a) RO-56U/D 出力
[入力周波数 $f_1 = 1\text{MHz}$]
クロック (1KHz)
1000000/パルス
1 μsec

(b) RO-56U/D 出力
[入力周波数 $f_1 = 4\text{MHz}$]
クロック (1KHz)
100000/パルス
1 μsec

[illegible]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)